

CIV6706A

Régulation de la circulation – Feux de circulation (carrefours isolés) – partie 1



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE

École Polytechnique de Montréal

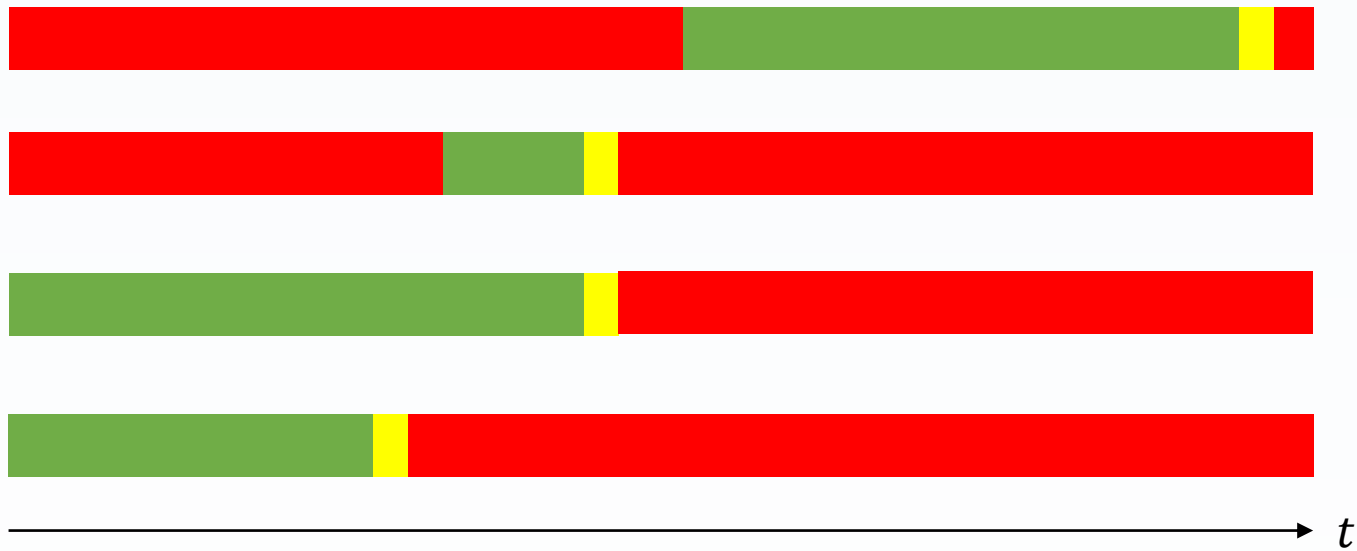
Département des génies civil, géologique et des mines

Automne 2017

FEUX DE CIRCULATION

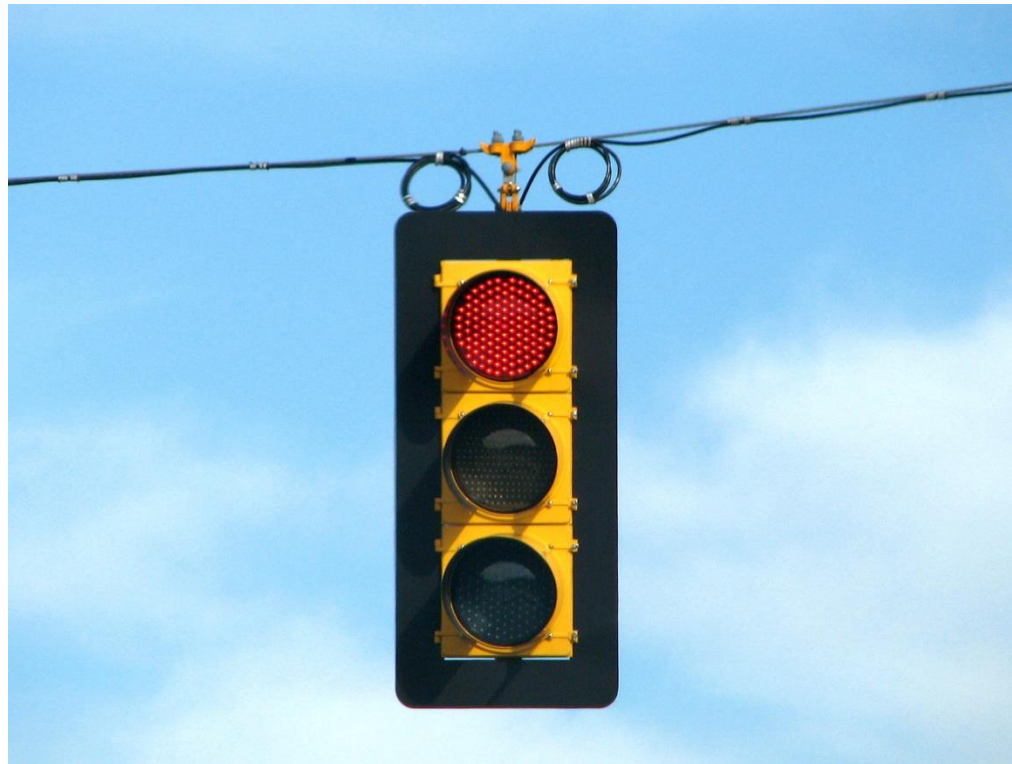
Feux tricolors : dispositif à commande manuelle, mécanique ou électrique au moyen duquel les conducteurs reçoivent alternativement un ordre d'arrêt ou une autorisation de marche.





Quelques définitions de base:

- **Indication** : état d'éclairage d'une lentille de feu.
- **Lanterne** : Boîtier comprenant la lampe et la lentille.
- **Tête de feux** : l'ensemble d'un minimum de trois lanternes fixées ensembles.



Quelques définitions de base:

- **Cycle** : intervalle de temps correspondant à une séquence d'indications complète (dure en général de 40 à 120 s).
- **Intervalle** : période pendant laquelle il n'y a aucun changement de l'état d'indication de *tout* les feux.
- **Phase** : fraction du cycle constitué de l'ensemble des intervalles alloués à l'écoulement d'un mouvement en particulier ou de plusieurs mouvements recevant simultanément un droit de passage.
- **Répartition** (*split*) : La durée en secondes d'une phase (le temps de vert)
- **Séquence** : ordre dans lequel se déroulent successivement les phases.
- **Décalage** ou **Ordonnée** (*offset*) : écart de temps entre le début du cycle au carrefour et le point de référence d'un système de feux opérant en coordination.

Cycle

Indication(s)

GDM

Intervalle(s)

t

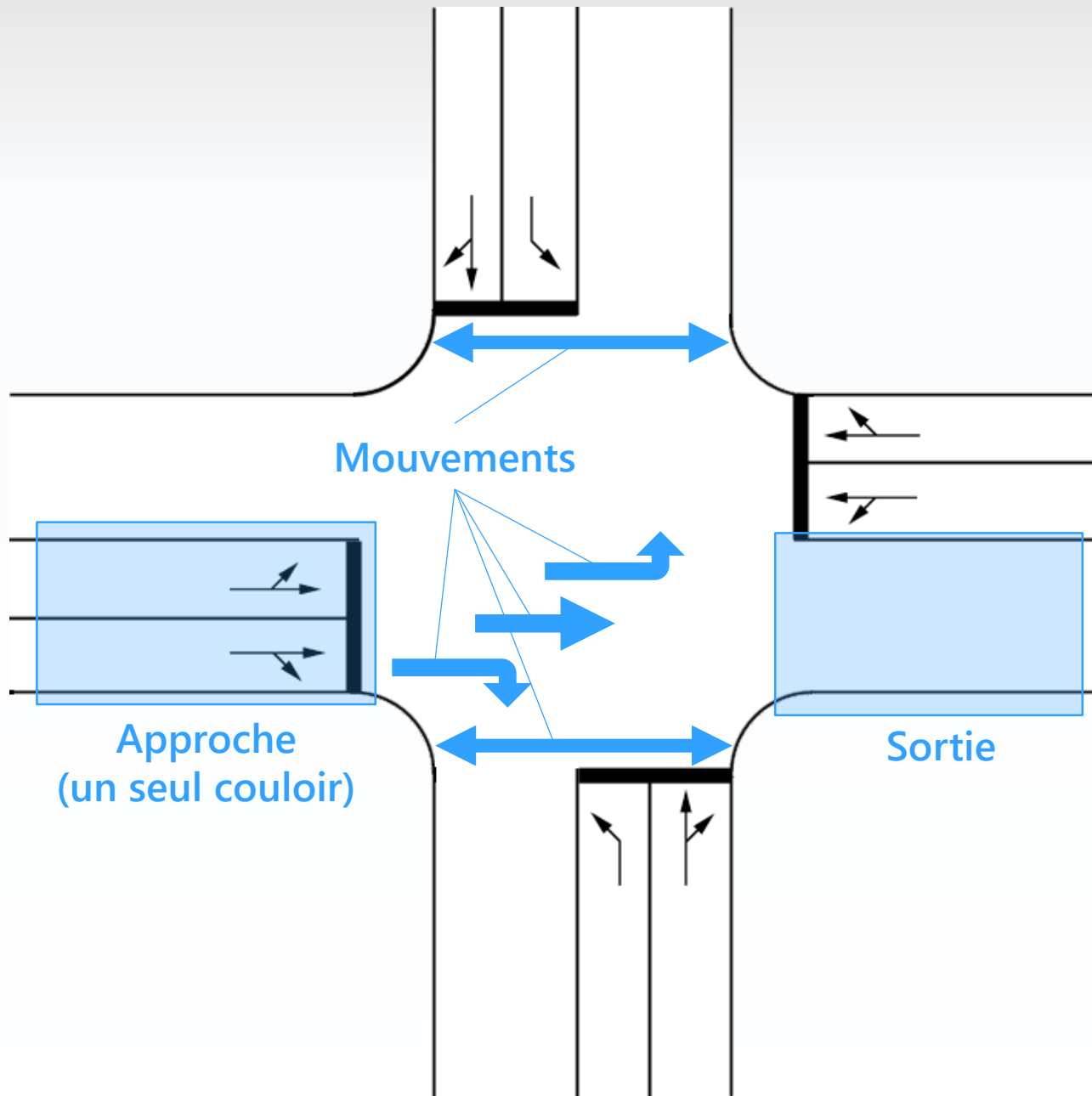
Phase(s),
en ordre de séquence

Décalage

$$t(0) = t' + d$$

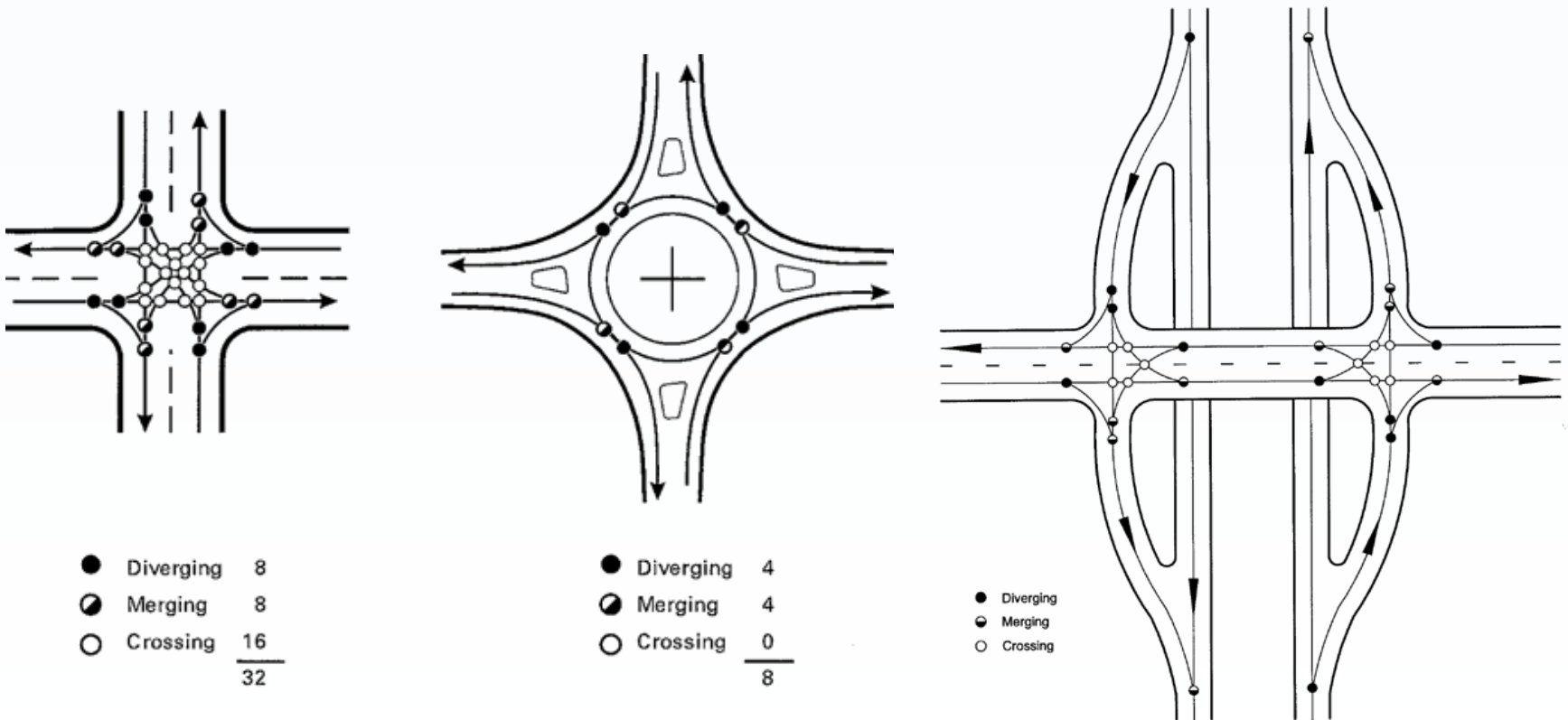
- **Mouvement** : L'origine-destination d'un véhicule ou d'un piéton à l'approche d'une intersection.
- **GDM** : groupe de mouvements (ayant une intervalle commune).
- **Branche** : partie de chacune des chaussées raccordée au carrefour, mais située à l'extérieur du carrefour proprement dit.
- **Approche** : partie de la branche parcourue par la circulation entrant au carrefour.
- **Sortie** : partie de la branche parcourue par la circulation sortant du carrefour.
- **Couloir** : à l'approche du carrefour, les courants de l'entrée sont répartis sur des couloirs d'entrée. Les couloirs sont séparés par des dispositifs physiques.

Branche

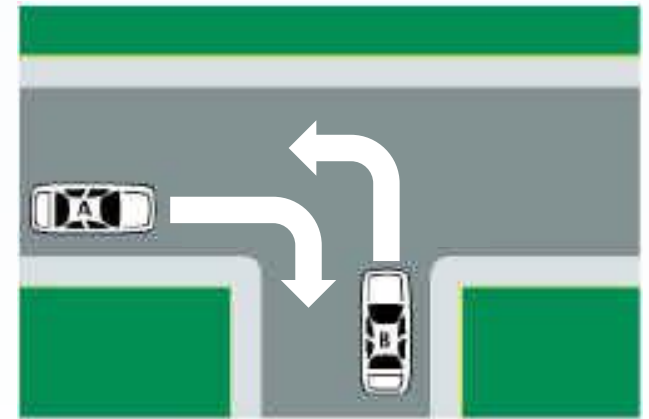


Conflit : Entrecroisement des trajectoires de deux ou plusieurs véhicules dans l'espace et possiblement dans le temps (situations de collision potentiels).

Point/zone de conflit : Lieux/zone où se produisent le(s) conflit(s) d'un type particulier

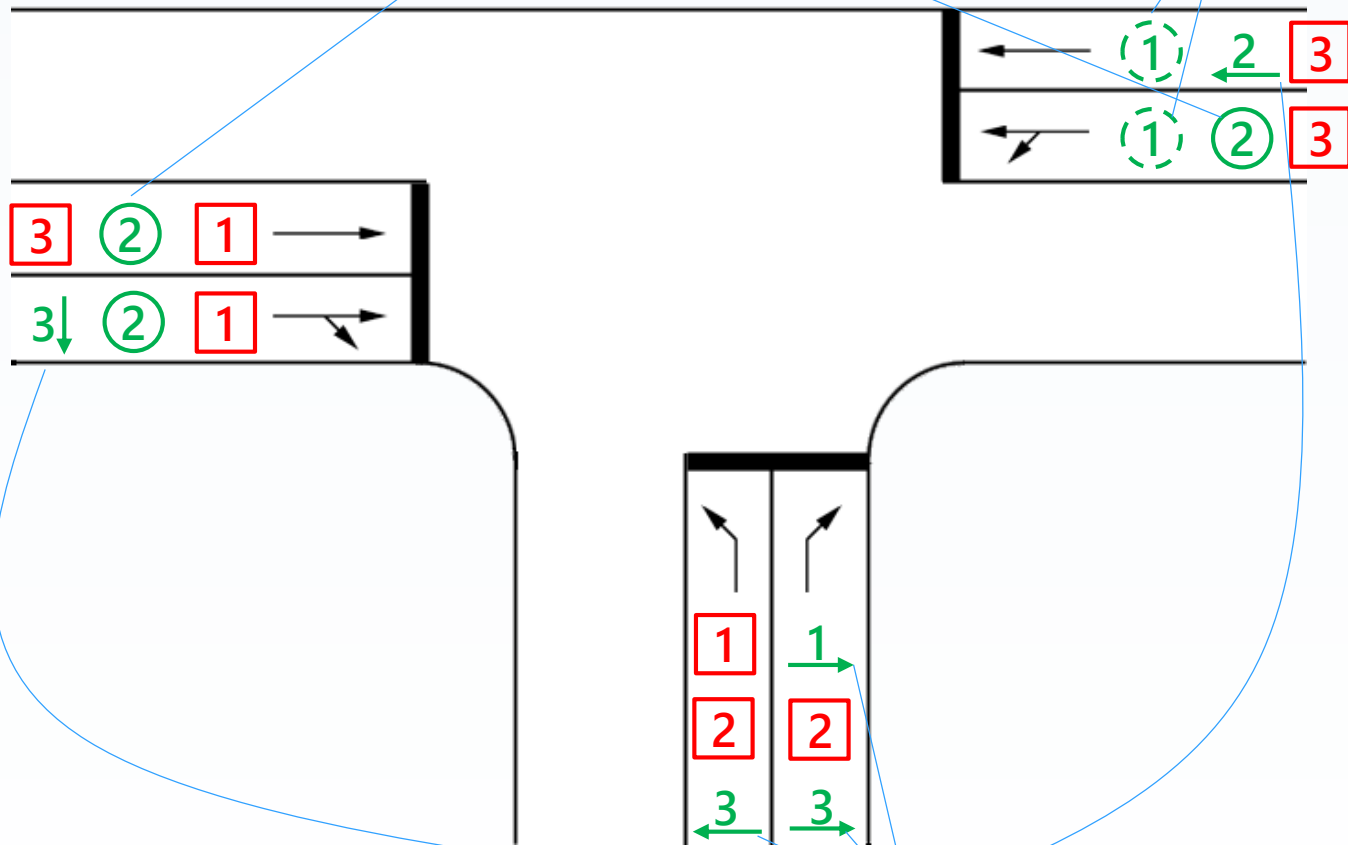


- **Mouvement permis** : le passage est autorisé, mais les usagers doivent envisager et gérer les conflits eux-mêmes.
- **Mouvement non-opposé** : le mouvement n'est jamais en conflit avec la circulation opposée à cause de la géométrie de l'intersection ou encore lorsque le plan de phasage fait en sorte que les mouvements en direction opposée sont entièrement séparés.
 - p.ex. les virages effectués à partir de la tige du «T» dans un carrefour en «T», ou à partir d'approches à sens unique.
 - Tant que ces mouvements sont sans opposition, ils peuvent être desservis par des voies partagées sans nuire au courants droits.
- **Mouvement protégé** : le passage est autorisé tandis qu'il est interdit pour les mouvements en conflit avec celui-ci.



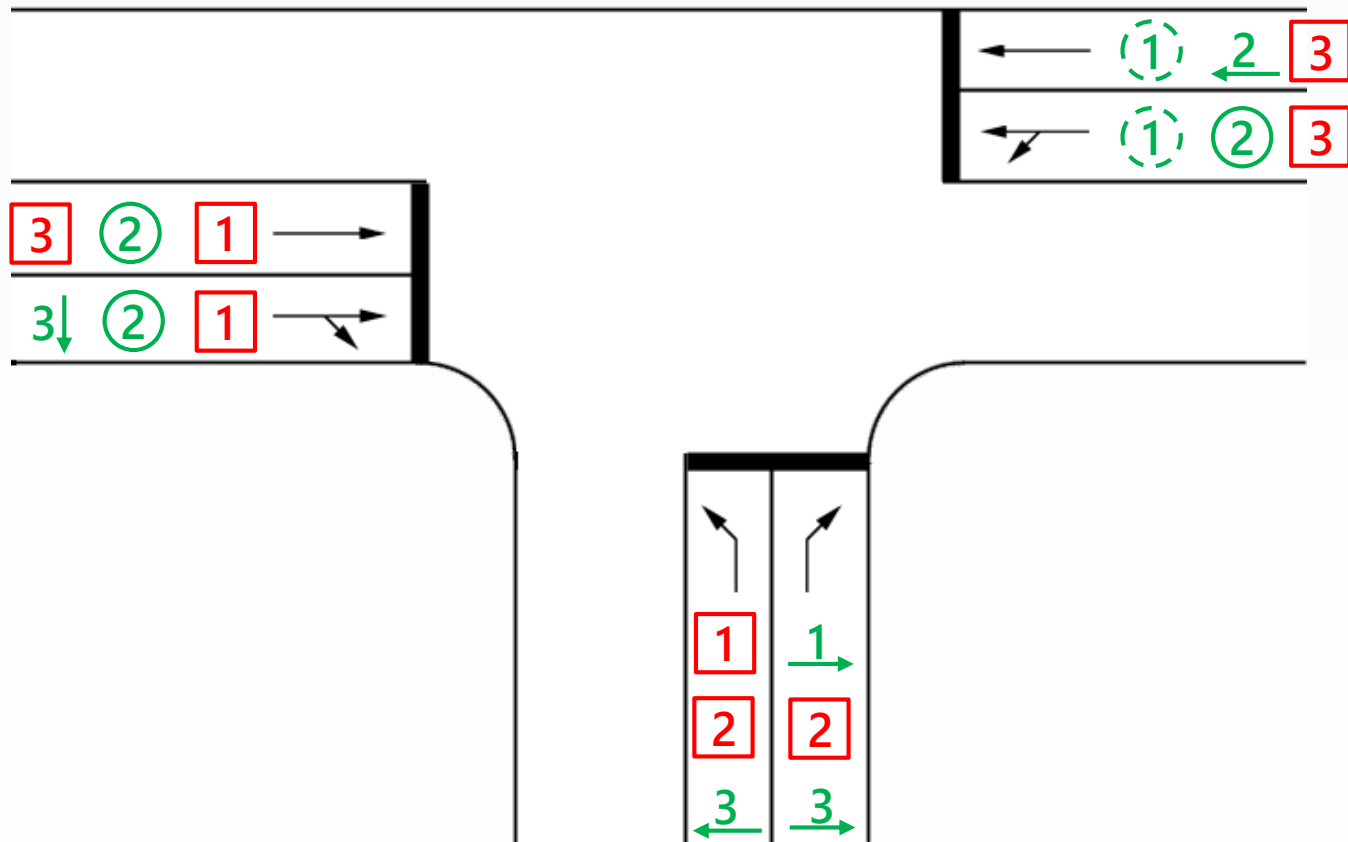
Mouvements permis

Mouvements protégés



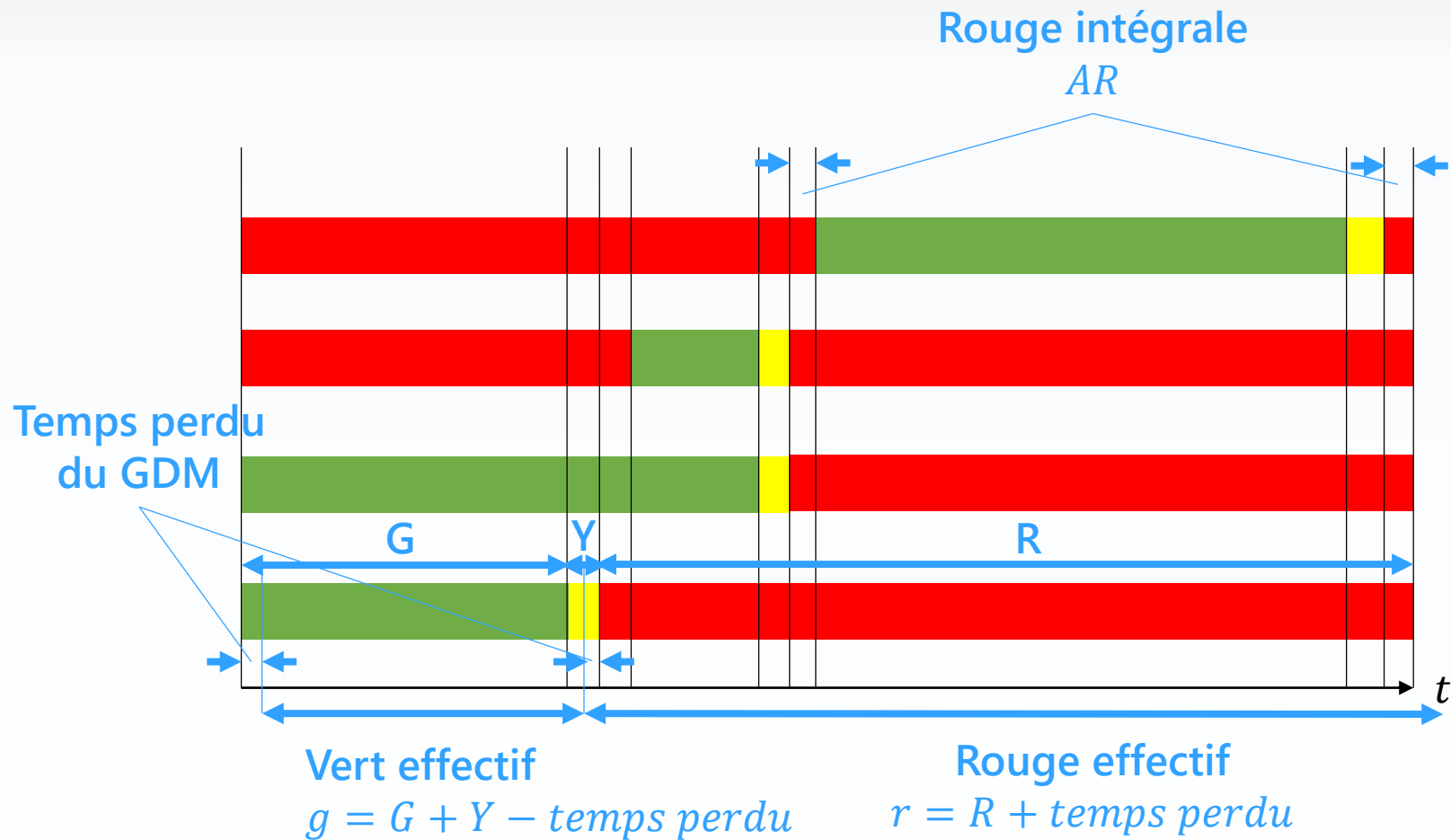
Mouvements non-opposés

Ce carrefour présente trois phases. Combien de groupes de mouvements y a-t-il?



- **Temps perdu du GDM**: somme de temps perdu au début du vert et à la fin du jaune.
- **Vert effectif ou utile** : somme du temps de vert et jaune indiqué moins le temps perdu du GDM (démarrage + dégagement).
- **Rouge effectif** : temps pendant lequel un ou plusieurs (mais pas tous les) courant(s) sont interdits (durée du cycle moins le temps de vert effectif de la phase considérée).
- **Rouge intégral** : temps de rouge commun à toutes les phases.
- **Temps perdu au carrefour** : somme de tout les temps perdu des GDM et des rouges intégrales.

Temps perdu au carrefour = $\sum \text{temps perdu du GDM} + \sum \text{rouge intégrale}$



Durée du cycle

$$C = (g + r)_{\text{phase } i} = G_i + Y_i + R_i$$

- **Débit réel v** : taux de véhicules utilisant un couloir exprimé en unités de véhicules passagers par heure.
- **Débit de saturation s** : taux de véhicules desservis par une route sans contrôle (p.ex. sans feux).
- **Débit de capacité c** : taux de véhicules desservis par une route avec contrôle.
- **Intensité** : même définition qu'un débit à ceci près qu'elle est déterminée sur des intervalles de temps dont la durée est inférieure à soixante minutes. Elle est exprimée en unités de débit horaire équivalent.
- **Phase saturée** : une phase est saturée lorsqu'au moins un véhicule est obligé d'attendre plus d'un cycle pour franchir le carrefour.
- **Cycle saturé** : lorsque toutes les phases sont saturées.
- **Sursaturation** : phénomène résultant d'une demande supérieure à l'offre au carrefour, ce qui crée une accumulation de véhicules et des files d'attente.

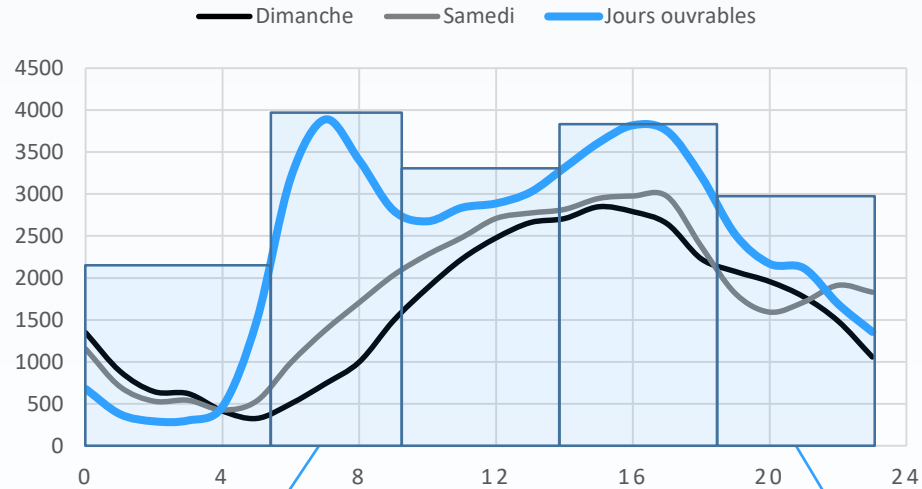
FONCTIONNEMENT DES FEUX

Feux à temps fixe :

- Ce sont des feux dont la durée du cycle, la séquence et la durée des phases demeurent constantes pour une période fixe.
- Le fonctionnement de ces feux est optimal aux heures qui ont servi de base à la programmation.
 - On peut en augmenter l'efficacité en implantant plusieurs plans (pointe du matin, du soir, hors pointe, nuit, fin de semaine, etc.).
- Ces feux sont efficaces lorsque les courants et débits horaires varient peu et quand ces variations sont constantes et prévisibles.
- Ils s'intègrent facilement dans un système coordonné.

Choix du plan selon *Time of day* TOD:

DÉBITS HORAIRES



Feux commandés par la circulation :

- Feux semi-adaptatifs
- Feux adaptatifs
- Feux à fonctionnement en temps réel/débit-densité

Ce sont des feux dont une ou plusieurs phases sont une fonction de la demande.

- La demande provient de détecteurs de véhicules situés sur les approches concernées.

Avantages des feux commandés par la circulation :

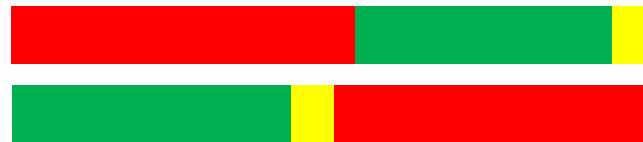
- Ils sont plus efficaces que les feux à temps fixes **lorsque la demande à une intersection varie** beaucoup et irrégulièrement.
- Ils sont adéquats aux intersections complexes à phases multiples quand un ou des **courants sont irréguliers** et que par conséquent certaines phases peuvent être escamotées.
- Ils sont appropriés lorsque des feux de circulation sont nécessaires seulement pendant quelques heures de la journée.
- Ils permettent de réduire les retards durant les heures creuses de circulation parce qu'ils n'allouent pas de temps de vert aux phases où il n'y a pas de demande véhiculaire.
- Ils permettent en tout temps un contrôle continu de la circulation.

Inconvénients des feux commandés par la circulation :

- Les **coûts** totaux d'installation dépassent ceux d'un système de contrôle à temps fixe. Toutefois, la différence tend à diminuer.
- Plus d'**entretien** et d'inspection sont nécessaires à cause des défauts des détecteurs et de la complexité relative des installations.
- Requiert plus de **compétence** et d'attention de la part des techniciens pour faire les ajustements qui donnent un rendement maximum.
- Perte de flexibilité et d'efficacité lorsque de tels feux font partie d'un **système coordonné**.

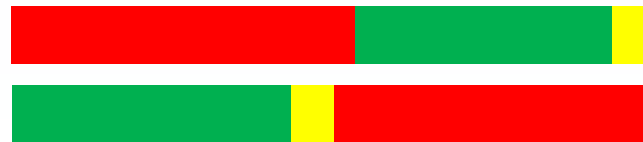
Exemple de fonctionnement semi-adaptatif :

- Au moins une phase doit être desservie sur demande. Cette demande provient de détecteurs situés sur l'approche avec une demande variable, p.ex. :
 - Approches de la rue secondaire
 - Voies à caractère exclusif situées à coté d'une rue principale.
 - Boutons passage piéton (sauf les boutons placebo...)
- La phase servant la rue principale reçoit un temps de vert minimum.
- L'indication vert servant le courant principal est maintenu (*extension time*) jusqu'à ce qu'un véhicule soit détecté sur l'approche avec une demande variable.
- Cependant, le vert ne dépasse en général pas une valeur maximale (*failsafe*, en cas de défectuosité du détecteur).



Exemple de fonctionnement semi-adaptatif :

- La phase servant l'approche avec une demande variable passe au vert si un usager a été détecté :
 - au plus tôt, après que le temps de vert minimum servant la rue principale G_{1min} se sera écoulé.
- Le temps de vert servant l'approche secondaire G_2 est fixe et est généralement assez court en comparaison.
 - Le rapport entre G_{1min} et G_2 est basé sur la proportion de demande moyenne entre les deux phases.
- Les temps de jaune Y et de rouge intégral R sont toujours pré-établis pour chacune des phases selon les normes de sécurité habituelles et ne varient jamais.



Exemple de fonctionnement semi-adaptatif :

- Pour un plan de feu à deux phases et à deux GDM dont la deuxième phase est desservi par un détecteur:

$$C = G_{1min} + G_{1ext} + Y_1 + R_1 + G_2 + Y_2 + R_2$$

$$G_{1extmin} < G_{1ext} < G_{1extmax}$$

- G_{1ext} est déclenché à la détection d'un véhicule à l'approche desservi par la phase 2 (durant G_{1min}).
 $G_{1extmin}$ peut être 0 secondes mais il y a des implications envers la sécurité.



Fonctionnement semi-adaptatif :

- L'efficacité du fonctionnement semi-adaptatif réside dans le fait que l'on interrompt la circulation sur la route principale **seulement** lorsqu'il y a une demande provenant d'un véhicule ou d'un piéton sur la route secondaire
 - ces interruptions sont ainsi réduites au minimum tant qu'il y a peu de trafic sur la route secondaire.



Fonctionnement semi-adaptatif :

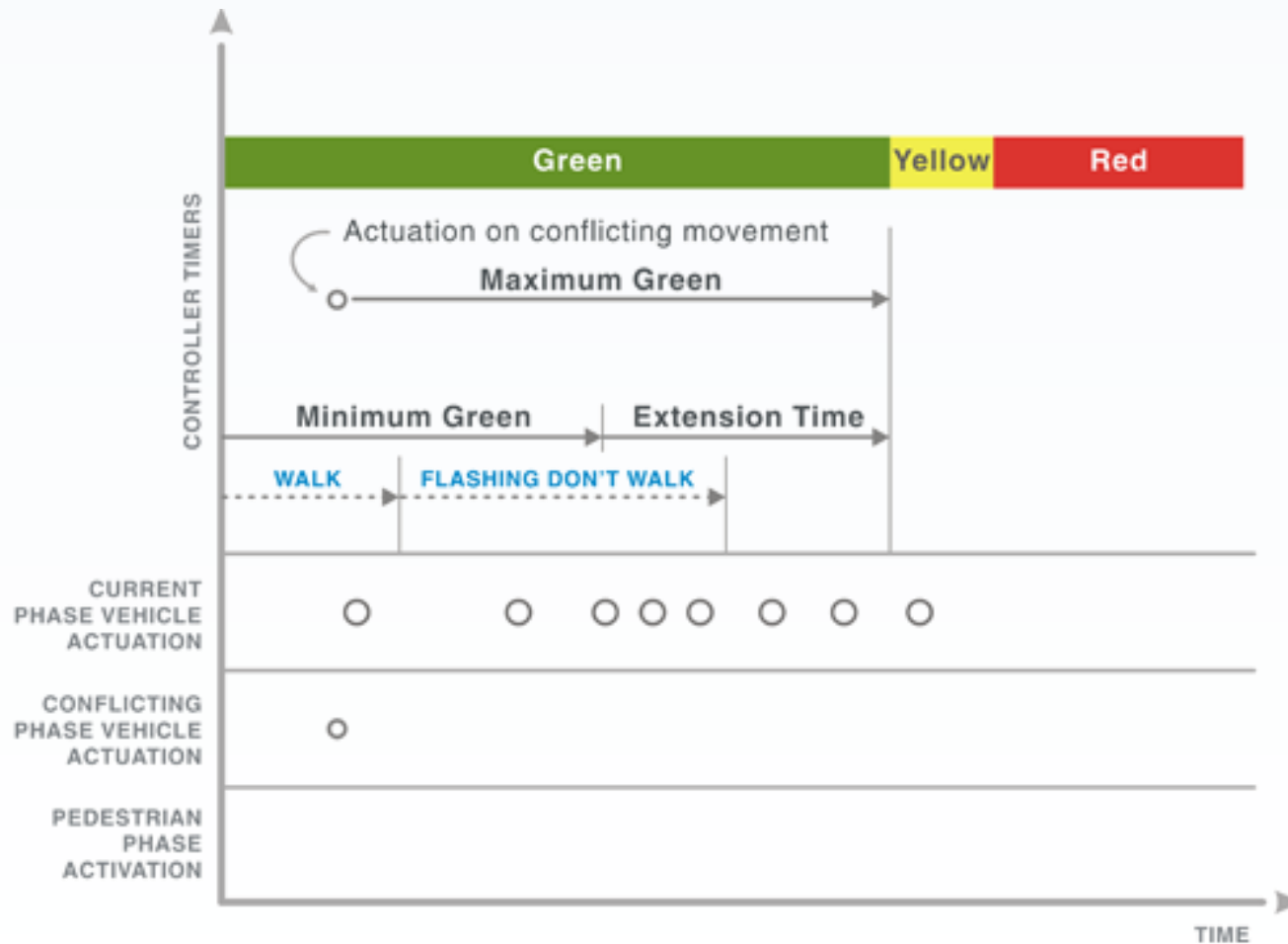
- On peut observer que plus le rapport du débit du courant secondaire sur le débit du courant principal est élevé, plus le retard au carrefour est grand et plus l'efficacité diminue.
 - Un feu semi-adaptatif sursaturé sur toute les approches n'est pas plus efficace qu'un feu fixe.
 - De plus, le retard causé par un feu semi-adaptatif augmente proportionnellement avec la durée du vert minimum sur la route principale.
- On observe aussi que le retard causé par un feu semi-adaptatif est toujours plus grand que celui causé par un feu adaptatif
 - * Sauf dans le cas où ces feux fonctionnent effectivement comme des feux à temps fixe dû à la sursaturation du carrefour.

Exemple de fonctionnement adaptatif :

- Les détecteurs sont installés sur **toutes les approches**.
- Pour chaque détection d'utilisateur (après l'expiration du vert initial $G_{i_{min}}$) le vert est prolongé d'un intervalle de prolongation $G_{i_{ext}}$ jusqu'au vert maximum $G_{i_{max}}$.
- Il n'y a ici pas de distinction entre la phase principale et secondaire.
- Le retard associé à un feu à commande adaptative augmente avec la durée de l'intervalle de prolongation G_{ext} tout comme l'est le cas pour l'augmentation de la durée du cycle pour les carrefours en général.
- Pour des débits faibles à modérés (avec des intervalles véhiculaires relativement courts), des feux à commande adaptative à des intersections isolées occasionnent moins de retards et d'arrêts que des feux à temps fixe.

Exemple de fonctionnement adaptatif :

- Variation :

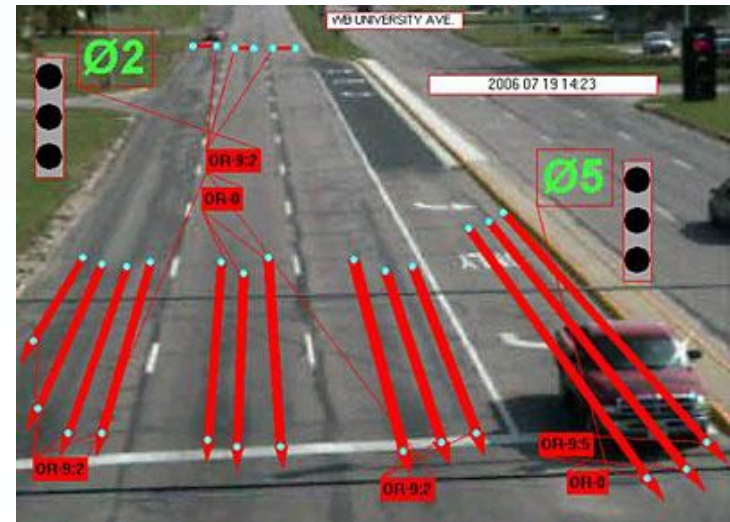
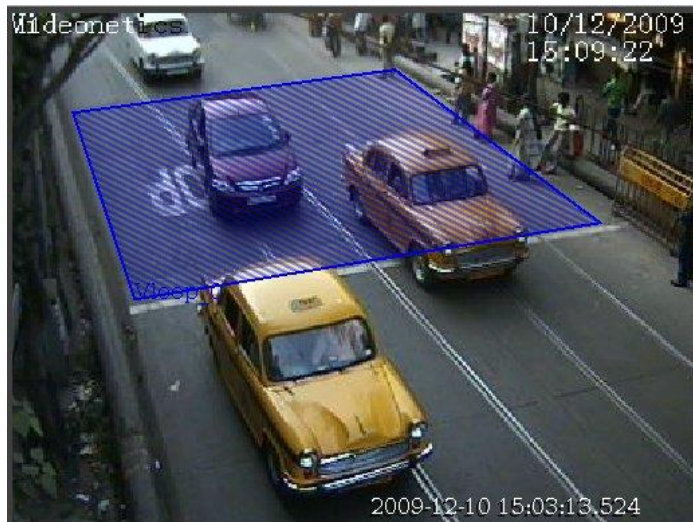


Fonctionnement débit-densité :

- Le feu à commande débit-densité est un perfectionnement du feu adaptatif. Il fonctionne de façon semblable à un feu adaptatif.
- Pendant le temps de rouge, le prochain temps de vert minimum est déterminé en fonction du nombre de véhicules qui ont été détectés et qui, par conséquent, sont en attente au début du vert. Ce vert minimum est égal au temps nécessaire pour évacuer la file qui s'est formée entre le détecteur et le feu.
 - Prise en compte des longueurs des files d'attente
 - Mise à jour continue des temps de vert en fonction de la demande en temps réel – 1 cycle

Fonctionnement débit-densité :

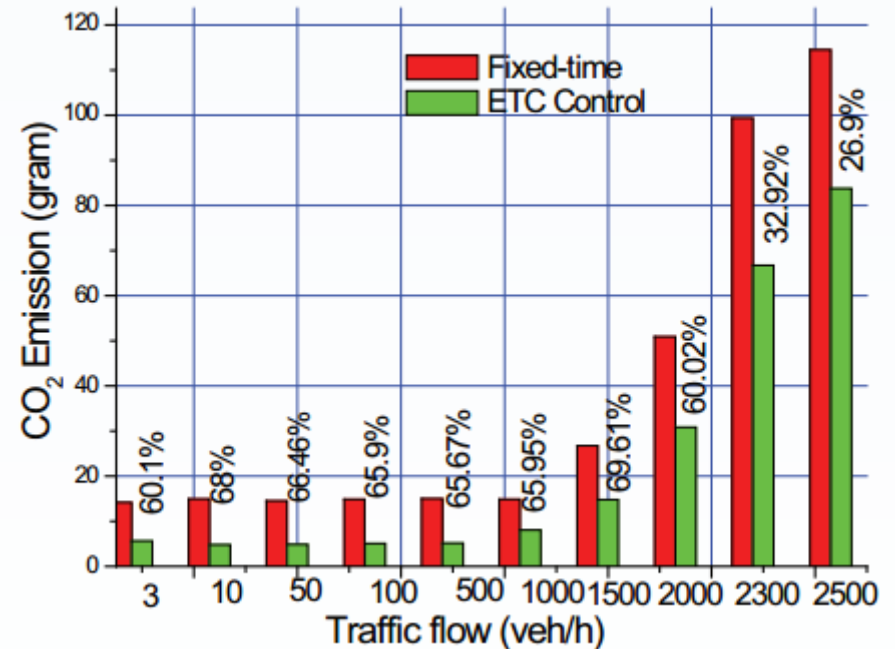
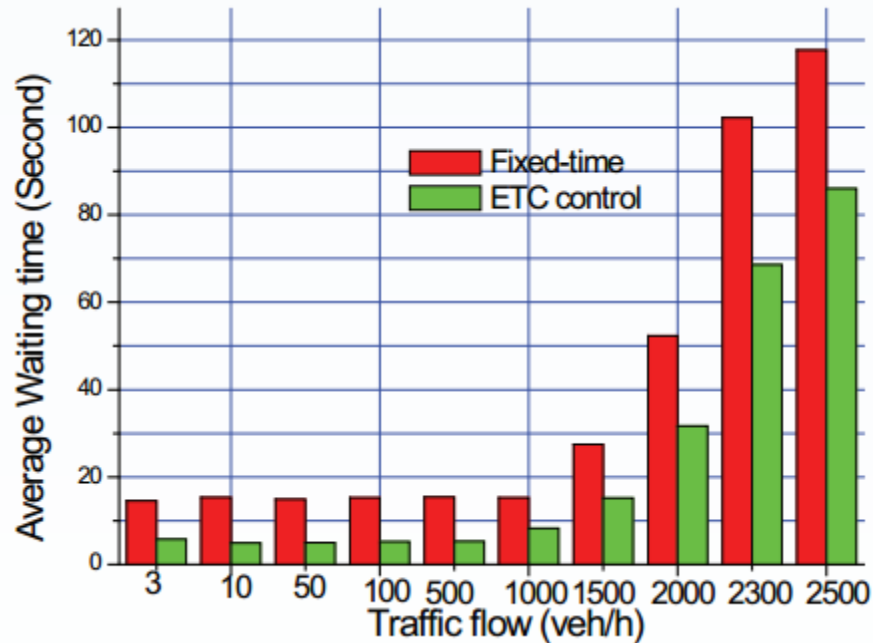
- Les temps de vert maximum, de jaune et de rouge intégral sont préétablis pour chaque phase.
- Les détecteurs doivent être placés assez loin de l'intersection (plus de 40 m) pour pouvoir enregistrer les longueur de file d'attente et éviter les zones de dilemme.
- Ces jours-ci, on auras tendance à utiliser des cameras de circulation ou les radars pour mesurer les files d'attente.



Fonctionnement débit-densité :

- L'avantage de la commande débit-densité sur la commande adaptative est que la durée de vert dépend non seulement de la circulation de la phase considérée mais également de la circulation de(s) prochaine(s) phase(s). Il y a donc optimisation sur l'ensemble du carrefour.
 - Autrement dit, au lieu de considérer seulement chacune des phases l'une après l'autre, on se soucie également du reste du carrefour et des véhicules en attente dans les autres phases.
- Ce type de feu est recommandé pour des **carrefours isolés** où les débits sont élevés sur toutes les approches et où les vitesses d'approche sont de 60 km/h ou plus.
- Le retard et les arrêts causés par un feu à commande débit-densité sont toujours inférieurs ou égaux à ceux d'un feu adaptatif ou fixe.

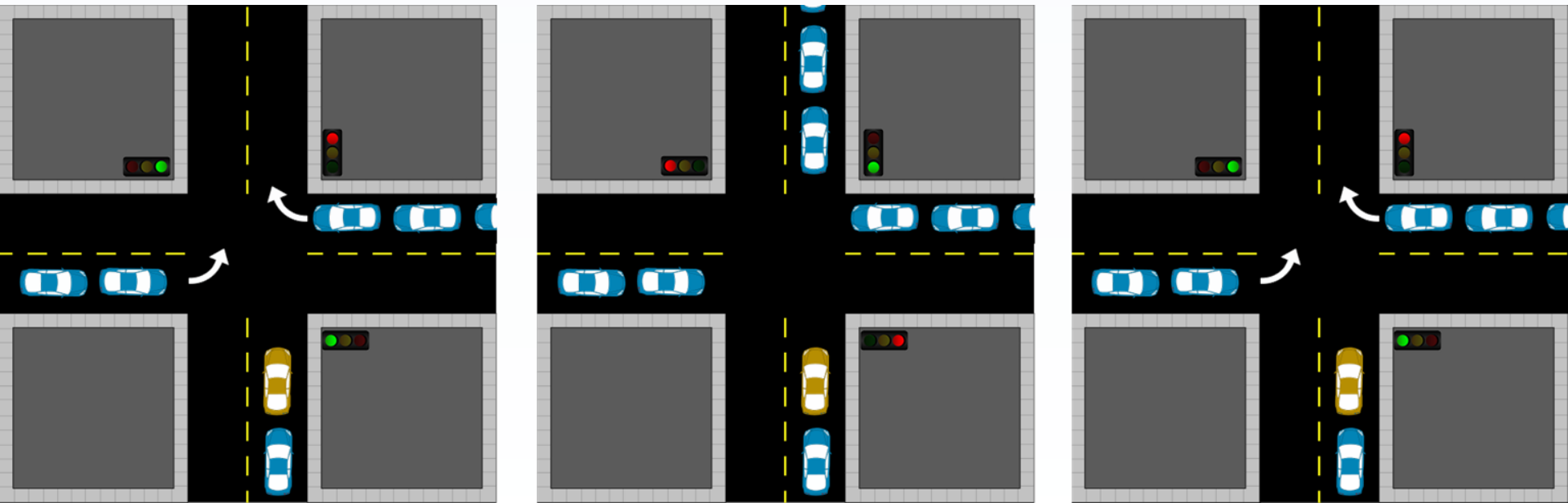
Fonctionnement débit-densité :



<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5766627>

Perfectionnement des systèmes débit-densité :

- L'intercommunication entres les feux et application des théories des jeux pour :
 - Donner priorité des mouvements verts sur les sorties moins desservis et identifier les carrefours critiques
 - Limiter les problème d'embouteillage lies au phénomène de résonance des cycles (situations sans coordination explicite)



CHOIX DU TYPE DE SIGNALISATION

Avantages des feux de circulation :

- Les feux de circulation permettent **d'ordonner les mouvements de la circulation**;
- de diminuer la fréquence de certains types d'accidents, notamment les collisions à angle droit;
- de produire un mouvement continu ou quasi continu de la circulation, à une vitesse préétablie (régulation de la vitesse par une bonne coordination);
- d'interrompre la circulation principale à intervalles déterminés pour permettre à la circulation transversale des véhicules et des piétons de traverser la voie principale.
- Efficace pour débit haut (temps perdu par véhicule réduit)

Désavantages du feux de circulation :

- Un ralentissement de la circulation et une diminution de la capacité d'écoulement (vis-à-vis aucune signalisation);
- La déviation de la circulation vers des routes locales
- L'augmentation de la fréquence de certains types d'accidents (particulièrement les collisions arrière)
- Des coûts d'acquisition et d'installation
- La désobéissance
- Non-efficace pour les débit faibles (temps perdu par véhicule étendu)

Même s'ils satisfont aux normes minimales de justification, les feux de circulation peuvent compromettre la sécurité s'ils sont mal situés, mal utilisés ou mal entretenus.

Facteurs géométriques défavorables à l'implémentation de feux de circulation :



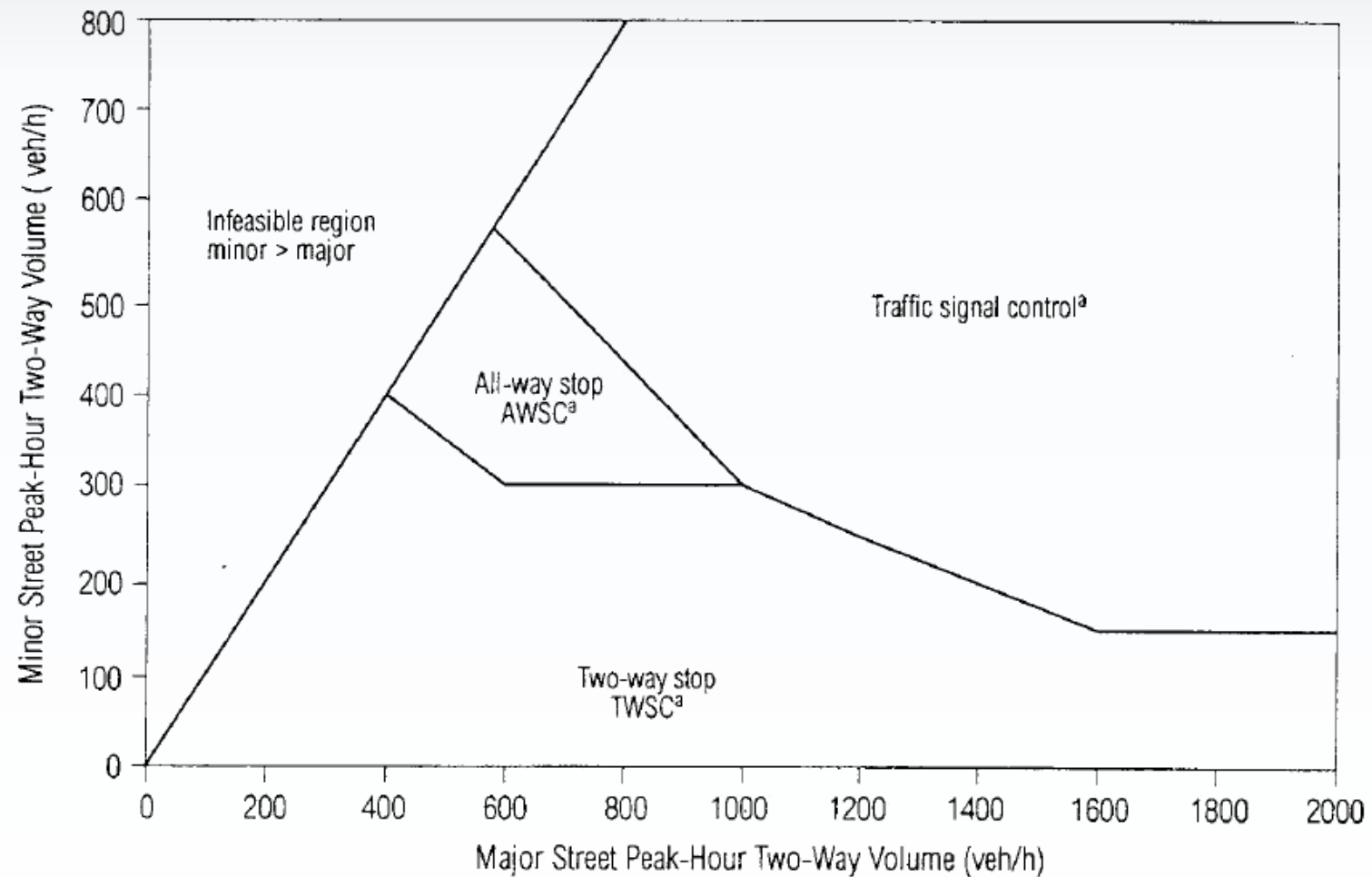
Le choix se fait d'habitude à partir des données suivantes :

- DJMA et **débits** véhiculaires horaires pour chaque approche (échantillon d'au moins 70% de la circulation journalière)
- Nombre de véhicules par approche, classés par mouvement et type de véhicule pour chaque période de 15 minutes durant les heures de pointe
- Le nombre de **piétons** traversant l'intersection pour chaque approche, plus particulièrement aux endroits proches d'une école, d'un hôpital, d'un centre communautaire/commercial ou d'une église
- Relevé de la **vitesse** des véhicules sur chaque approche non-signalisée; la vitesse représentative est celle qui est dépassée par 15 % des véhicules (**85^e centile**)

Le choix se fait d'habitude à partir des données suivants :

- Géométrie, historique des **accidents**, composition urbaine et classification de la route
- La **fréquence et la distribution des créneaux de véhicules** sur la route principale; les créneaux considérés potentiellement utiles sont ceux qui permettent à la circulation transversal de s'engager en sécurité
- Les retards, en secondes, par véhicule et la longueur moyenne des files d'attente déterminés séparément pour chaque mouvement à chaque approche s'ajoutent lors de l'évaluation d'un carrefour déjà signalisé avec feux

INTERSECTION CONTROL TYPE AND PEAK-HOUR VOLUMES (SEE FOOTNOTE FOR ASSUMED VALUES)



Notes

a. Roundabouts may be appropriate within portion of these ranges.

Source: Adapted from *Traffic Control Devices Handbook* (8, pp. 4–18) - peak-direction, 8-h warrants converted to two-way peak-hour volumes assuming ADT equals twice the 8-h volume and peak hour is 10 percent of daily. Two-way volumes assumed to be 150 percent of peak-direction volume.

Critères de conception soit:

FHWA (MUTCD Chapitre 4)

- Section 4C.01 Studies and Factors for Justifying Traffic Control Signals
 - Warrant 1, Eight-Hour Vehicular Volume
 - Warrant 2, Four-Hour Vehicular Volume
 - Warrant 3, Peak Hour
 - Warrant 4, Pedestrian Volume
 - Warrant 5, School Crossing
 - Warrant 6, Coordinated Signal System
 - Warrant 7, Crash Experience
 - Warrant 8, Roadway Network
 - Warrant 9, Intersection Near a Grade Crossing

Critères de conception soit:

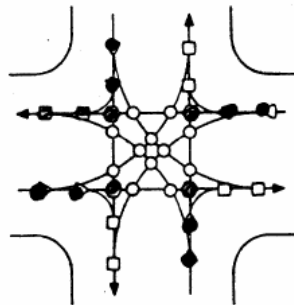
MTQ (Tome V, Chapitre 8)

- 8.5.1.4 Critères de justification des feux de circulation
 - Critère 1 : Débit minimal de véhicules durant 6 heures
 - Critère 2 : Débit minimal de véhicules durant 4 heures
 - Critère 3 : Débit minimal de véhicules durant une heure
 - Critère 4 : Sécurité
 - Critère 5 : Retard minimal durant une heure
 - Critère 6 : Débit minimal de piétons
 - Critère 7 : Débit minimal d'écopiers

CONFLITS AUX CARREFOURS

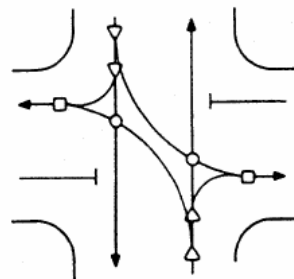
La conception des carrefours vise à la fois à minimiser les conflits et à maximiser la capacité.

carrefour à quatre branches
approche à voie simple
sans feux



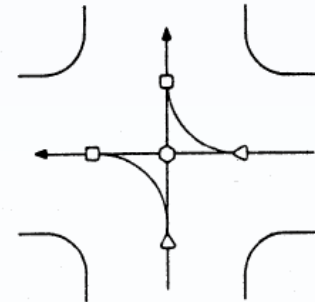
conflits possibles	
● divergence	8
■ convergence	8
● cisaillement	4
○ virage	<u>12</u>
nombre de conflits	32

carrefour à quatre branches
approche à voie simple
avec feux



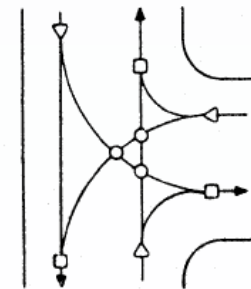
conflits possibles	
△ divergence	4
□ convergence	2
○ cisaillement	0
○ virage	<u>2</u>
nombre de conflits	8

carrefour à quatre branches
rues à sens unique sans
feux

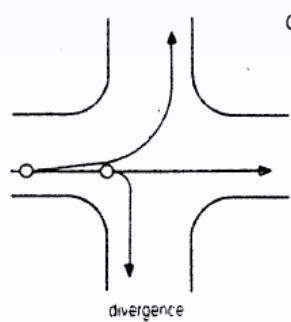


conflits possibles	
△ divergence	2
□ convergence	2
○ cisaillement	1
○ virage	<u>0</u>
nombre de conflits	5

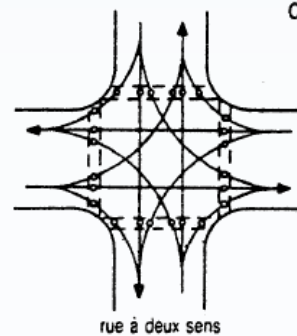
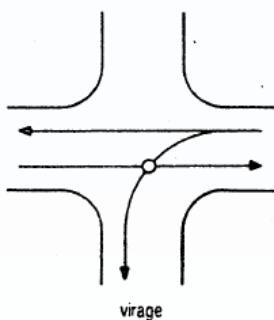
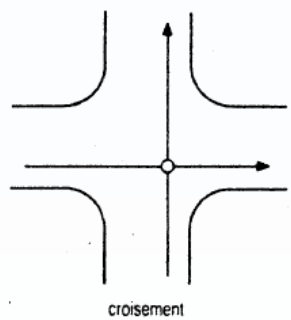
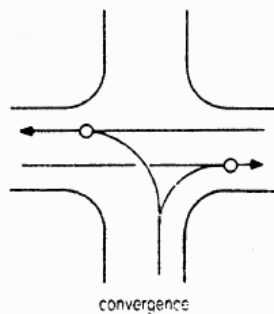
carrefour à trois branches
approche à voie simple
sans feux



conflits possibles	
△ divergence	3
□ convergence	3
○ cisaillement	0
○ virage	<u>3</u>
nombre de conflits	9

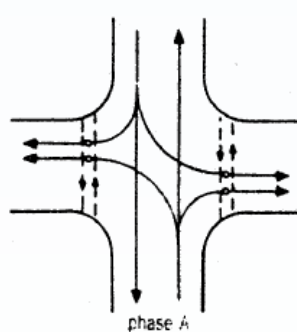
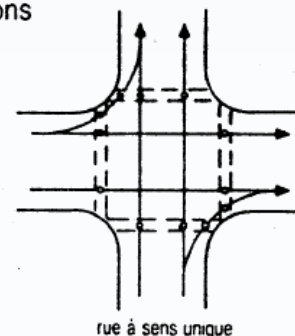


conflits de véhicules

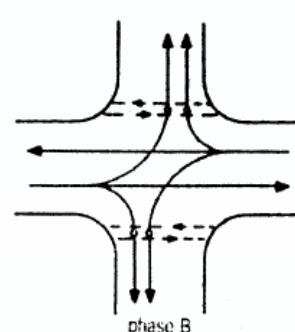


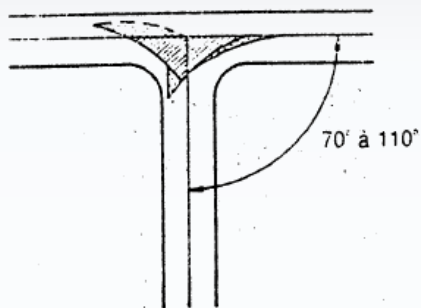
conflits véhicules-piétons

aux carrefours sans feux

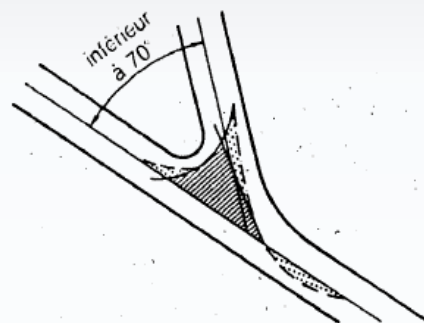


aux carrefours avec feux

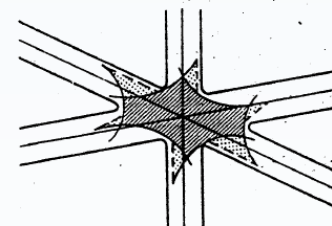




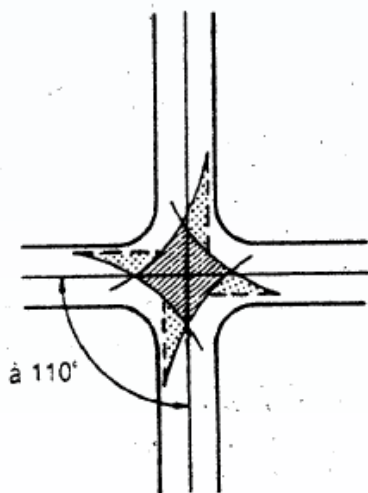
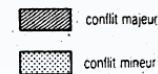
carrefour en T



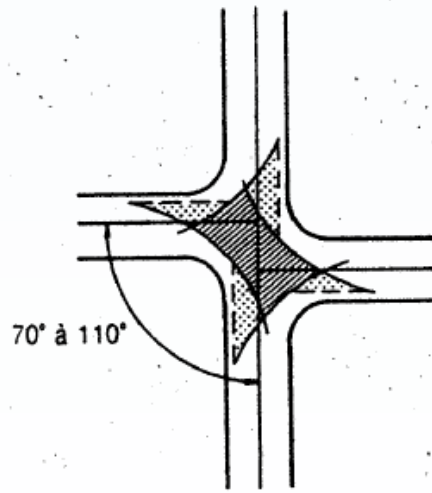
carrefour en Y



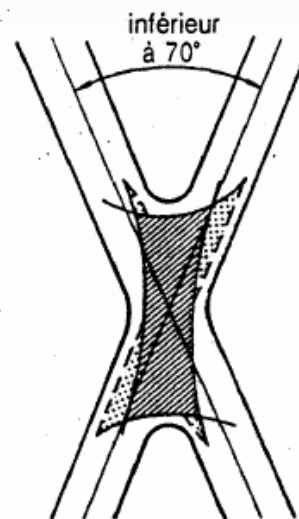
carrefour à branches multiples



carrefour en croix



carrefour en croix décalée



carrefour en X

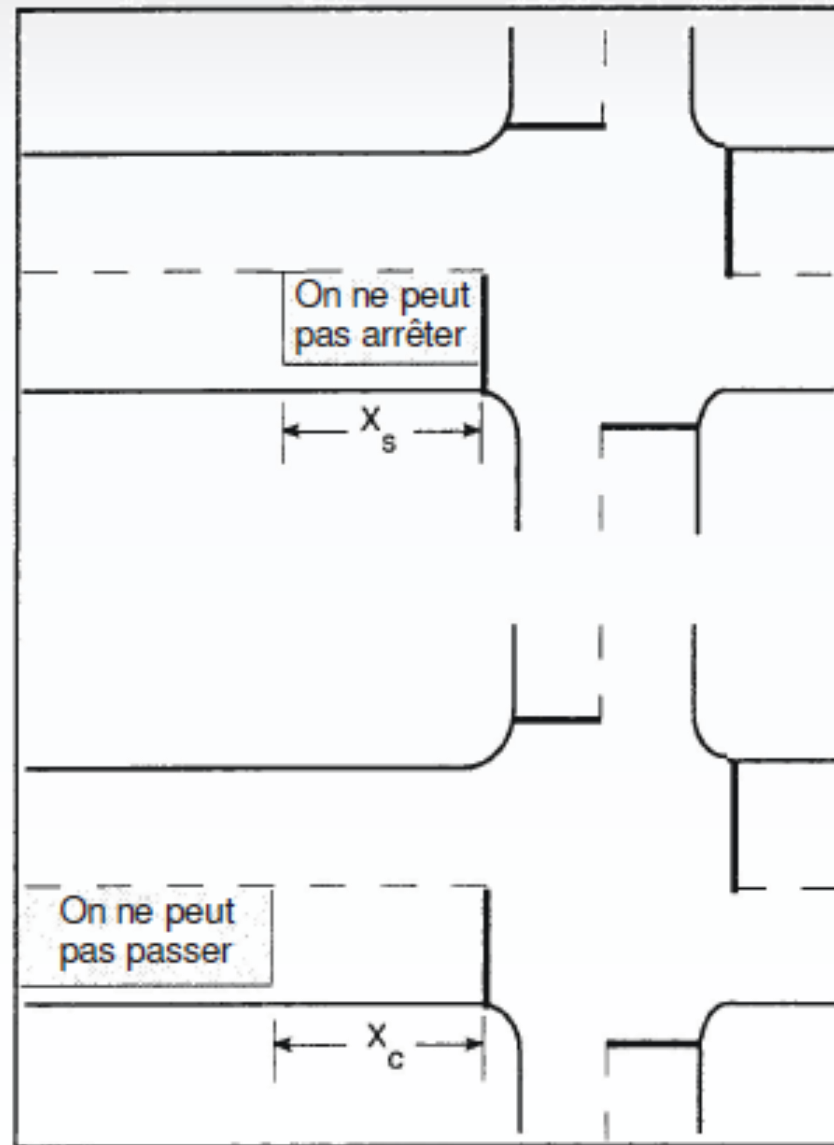
L'INTERVALLE DE SÉCURITÉ ENTRE DEUX PHASES

L'interval de sécurité entre deux phases antagonistes (ISPA) est la période entre deux phases vertes antagonistes qui est composé d'une période de **temps jaune *Y*** (*yellow time*), souvent suivie d'une période de **rouge intégrale *R*** ou ***AR*** (*all-red time*) servant au dégagement.

- Puisque les conducteurs peuvent légalement entrer le carrefour pendant le temps de jaune, celui-ci n'est pas un temps de dégagement.
 - N.B. : Sauf pour les cas « gridlock »
- Rouge intégrale : standard ITE 1985

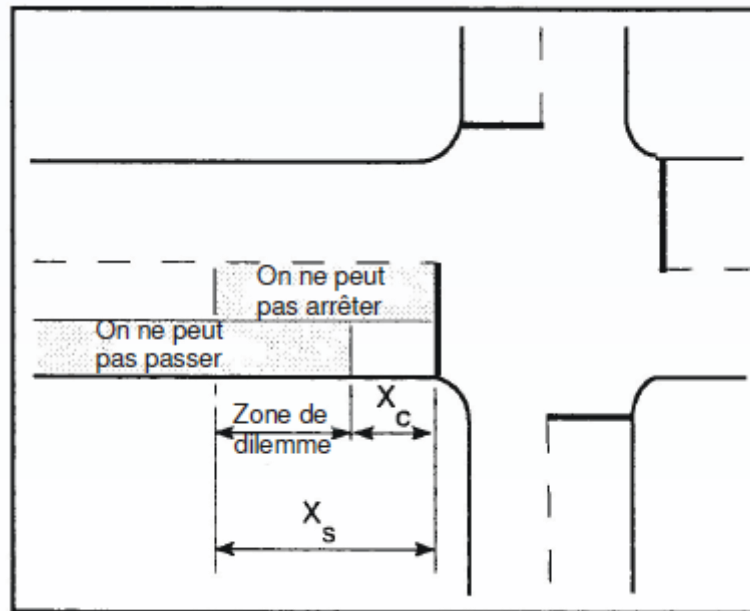
L'objectif du temps de jaune :

- Avertir le conducteur que l'indication verte se termine et de lui permettre soit :
 - de continuer à la même vitesse constante à travers le carrefour (certains états permettent une accélération) afin d'éviter un arrêt trop soudain
 - de s'arrêter en sécurité avec un taux de décélération de 3 m/s^2
- La durée du jaune doit être choisie de manière à ce qu'aucun conducteur ne se trouve en **situation de dilemme** :
 - ne pas pouvoir freiner à temps afin de ne pas dépasser la ligne d'arrêt avant l'indication du feu rouge (parce que le conducteur est trop près du carrefour lorsqu'il voit apparaître le jaune), **et**
 - de se trouver trop éloigné du carrefour pour pouvoir passer en sécurité sans accélérer



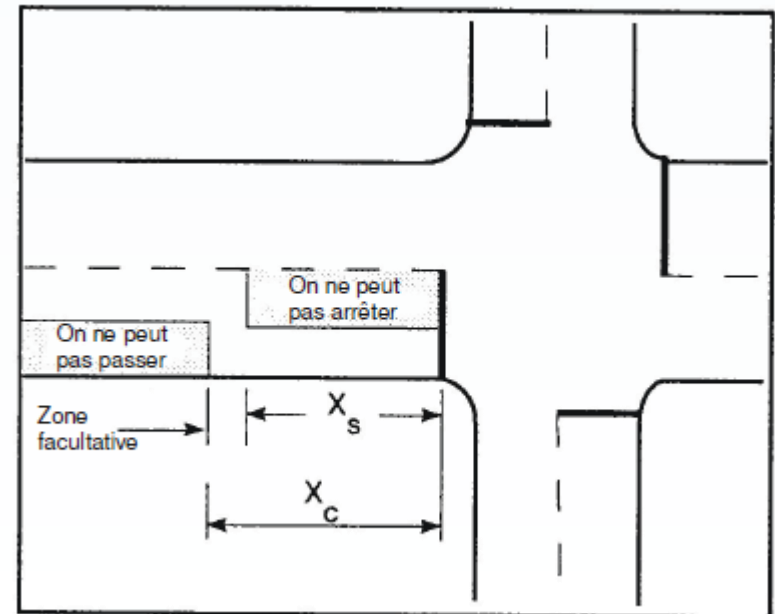
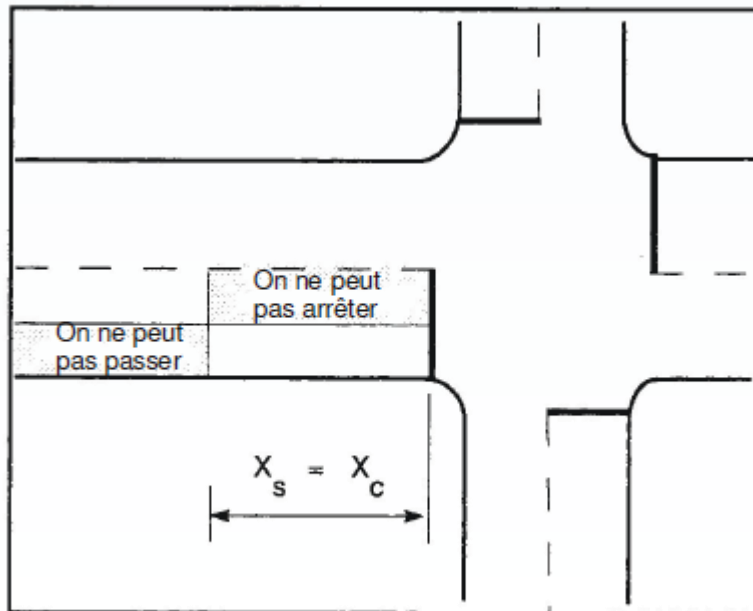
$$x_s > x_c$$

- Dans ce cas les deux zones se chevauchent et le conducteur se trouve dans le dilemme de ne pas pouvoir s'arrêter ni passer en sécurité lorsqu'il se trouve dans la zone de dilemme lorsque le feu jaune apparaît



$$x_s \leq x_c$$

- Les deux zones sont séparées par une certaine distance et si le conducteur s'y trouve il peut prendre une des deux décisions en sécurité.
- Si une zone d'option ou facultative existe, on observe souvent une augmentation du nombre de collisions arrière dû au fait que les conducteurs prennent des décisions différentes.



Contraintes :

- Distance d'arrêt :

$$x_s = v \times TPR + \frac{v^2}{2d}$$

où: TPR = temps de perception et de réaction de 1 seconde
 d = décélération, environ 3 m/s²

- Le conducteur ne peut pas s'arrêter s'il se trouve à une distance inférieure à x_s du carrefour lorsque le jaune apparaît. Il va donc continuer et doit libérer le carrefour pendant le temps de jaune et le temps rouge intégrale.

Contraintes :

- Le conducteur continue pendant le temps de jaune et rouge intégrale et il parcourt pendant ce temps une distance de x_c :

$$x_c = v(Y + AR) - (D + L) + \frac{a(Y + AR - TPR)}{2}$$

où: TPR = temps de perception et de réaction de 1 seconde

Y = temps de jaune (secondes)

AR = temps de rouge intégrale (secondes)

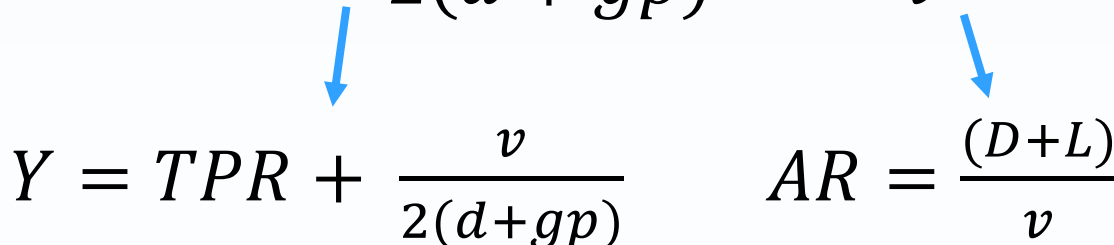
D = largeur du carrefour à traverser (m)

L = longueur du véhicule (~5 m)

a = accélération (m/s²) généralement assumé = 0; on peut aussi utiliser: $a = 4.9 - 0.213v$

- Un véhicule en amont de x_c ne peut pas passer, doit donc s'arrêter

La présence d'une zone de dilemme peut être évitée si on s'assure que $x_s = x_c$. Sans changer les paramètres reliés au conducteur cela peut être atteint en choisissant le temps de jaune de façon suivante:

$$ISPA = Y + AR = TPR + \frac{v}{2(d + gp)} + \frac{(D + L)}{v}$$

$$Y = TPR + \frac{v}{2(d + gp)} \qquad AR = \frac{(D + L)}{v}$$

où: TPR = temps de perception et de réaction de 1 seconde
 d = décélération, environ 3 m/s²
 g = constante gravitationnelle locale (9.807m/s²)
 p = pente (pourcentage mètres/100metres, 0-1)

$$ISPA = Y + AR$$

- 3 secondes < Y < 5 secondes
- Un *ISPA* trop long amène la création d'une zone d'option. Les conducteurs ont à ce moment le choix d'arrêter ou de continuer et le risque de collisions arrières est augmenté lorsque le conducteur du véhicule précédent décide d'arrêter alors que le conducteur du véhicule suivant décide de continuer.

Vitesse d'approche (km/h)	D (m)				
	10.4	14.1	17.8	21.5	25.2
50	4.5	4.7	5	5.3	5.5
60	4.7	5	5.2	5.4	5.6
70	5.1	5.3	5.5	5.6	5.8
80	5.4	5.6	5.8	5.9	6.1
90	5.8	6	6.1	6.3	6.4
100	6.2	6.3	6.5	6.6	6.7

La détermination théorique de la zone de dilemme a été faite en considérant certaines hypothèses simplificatrices.

- Entre autres, que tous les conducteurs ont le même temps de perception - réaction, que tous les véhicules ont la même capacité de freinage, la même vitesse d'approche, etc.
- Or, des différences existent inévitablement. C'est pourquoi les zones de dilemme et d'option ne peuvent pas être délimitées d'une façon nette.

Méthode alternative de calcul du rouge intégral néerlandais CVN 1996, (Muller, Dijkster, Furth, 2004) :

- Au lieu d'utiliser la taille de traversé du carrefour, on utilise la distance de parcours selon le mouvement et on élimine le temps d'entrée des véhicules sur la prochaine phase.
- Évaluation du chevauchement des zones de conflit.
- Diminution du temps perdu de la phase, soit une augmentation de la capacité.
- Masi, réduction des intervalles de sécurité.

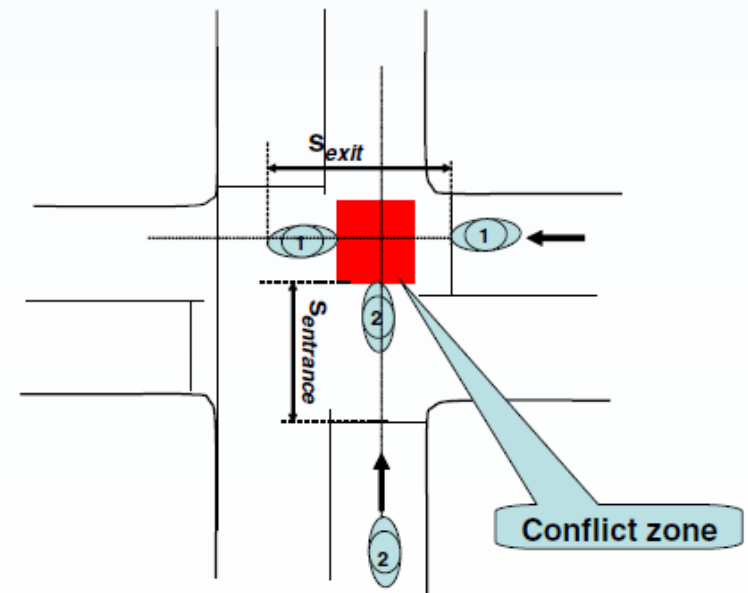


FIGURE 1 Traffic Streams and Conflict Zones

Méthode alternative de calcul du rouge intégral néerlandais CVN 1996, (Muller, Dijker, Furth, 2004) :

$$AR_{i,j} = \frac{(D_i + L_i)}{v_i} - t_{\text{entrance}j}$$

Pour la **distance critique** :

$$S_{critical} = \frac{v_{j_{max}}^2}{2(a_{acc} - a_{dec})}$$

Si $s_{entr.} \leq s_{critical}$:

$$t_{entrance_j} = TPR + \sqrt{\frac{2s_{entrance}}{a_{acc} - a_{dec}}}$$

Si $s_{entr.} > s_{critical}$:

$$t_{entrance_j} = TPR + \frac{s_{entrance}}{v_{j_{max}}} + \frac{v_{j_{max}}}{2(a_{acc} - a_{dec})}$$

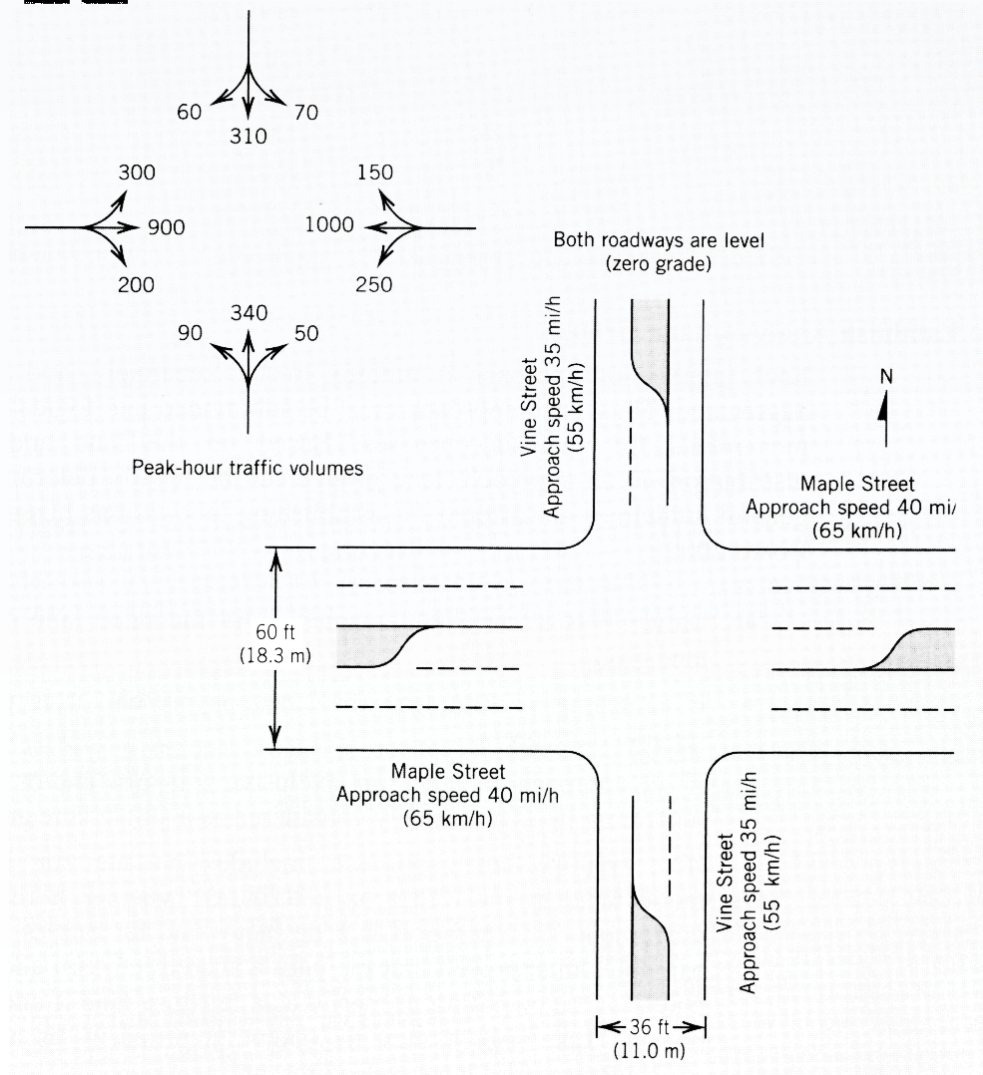
où : $TPR = 0$ (facteur de sécurité optionel)

$$(a_{acc} - a_{dec}) = \frac{2.4m}{s^2}$$

Autres considérations:

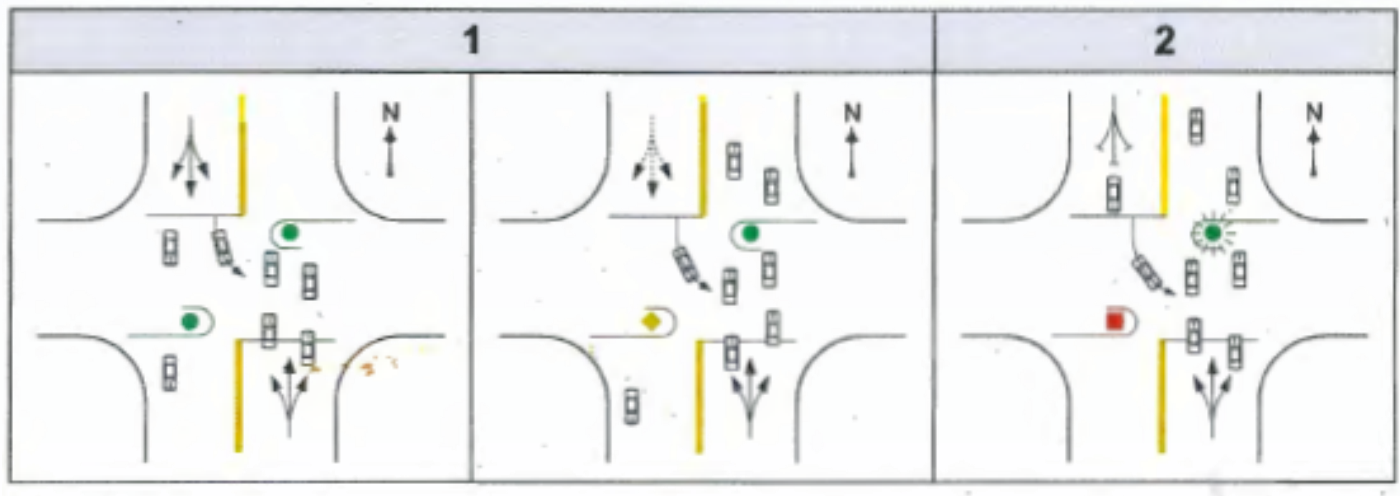
- La méthode CVN 1996 empiète sur les facteurs de sécurité du rouge intégrale. Cette méthode n'est pas souhaitable dans tout les cas/juridictions.
- Le dégagement des virages à droite est plus long que les mouvements droits.
 - Ceci devrait être pris en compte pour le calcul de chacune des méthodes.

EXAMPLE



YELLOW TRAP

Problème lié au virage permis sur phases désynchronisé pour mouvements antagonistes.



TEMPS DE VERT MINIMUM

Il s'agit de déterminer le **temps de vert minimum G_{min}** (*minimum green time*) à allouer à chaque groupe de mouvements.

- Nécessaire pour assurer le passage d'au moins un ou deux véhicules en tout temps (même si pas toujours pratique) ~ 5 secondes
- Nécessaire pour assurer le passage sécuritaire des piétons

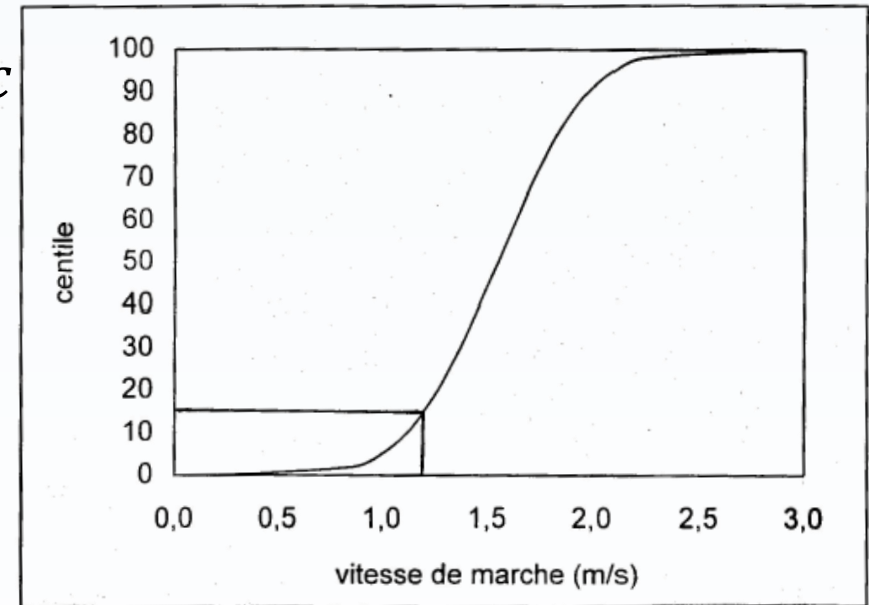
Le temps de vert minimum s'applique aux carrefours à temps fixe tout autant que les carrefours dynamiques.

Pour des GDM incluent des mouvement piétons, on considère le **temps de marche** pour traverser un carrefour :

- 15^{ième} centile : $v = 1.2m/sec$
- Possible de choisir un centile moindre dans le cas de surreprésentation d'enfants, de personnes âgées etc.

$$T_{traversée} \leq G + Y + AR$$

$$G_{min} = T_{traversée} - Y - AR$$



On retrouve différents modèles pour représenter $T_{traversée}$...

Modèle classique américain :

$$G_{min} = I_e + \frac{D}{v} - (Y + AR)$$

- On considère un temps de réaction, de démarrage et d'engagement I_e :
 - 4 secondes s'il y a moins de 10 piétons/cycle
 - 7 secondes s'il y a de 10 à 20 piétons/cycle
 - ou plus s'il y a plus de 20 piétons/cycle (nous assumons ici 10 secondes)
- En général, la distance à traverser D correspond à la largeur de la chaussée.
 - Dans le cas d'un terre-plein celui-ci sert souvent comme îlot de refuge et on fait traverser le piéton en deux temps (si îlot > 2m). Toutefois, ceci n'est pas toujours bien accepté par les piétons et peut engendrer des accidents!

Modèle classique américain :

$$G_{min} = I_e + \frac{D}{v} - (Y + AR)$$

- Ce modèle peut être utilisé sans contrevenir à la norme, lorsqu'il n'y a pas de feux de piétons, ceci peu importe que les feux de circulation soient adaptatifs, semi-adaptatifs ou à temps fixe.

Modèle Québécois:

$$G_{min} = I_e + I_d = TPR + 2 + 2(N - 1) + \frac{D}{v} - (Y + AR)$$

où: $I_e = TPR + 2 + 2(N - 1)$

$$I_d = \frac{D}{v} - (Y + \rho)$$

D = largeur de la chaussée

TPR = temps de perception et de réaction de 3 secondes

2 = facteur de sécurité de 2 secondes

N = nombre de rangées de piétons au 85^{ième} centile, soit la partie entière de l'équation suivante, en supposant une distribution Poisson :

$$N = \left(\frac{qC + \sqrt{qC}}{4} + 1 \right)$$

q = débit moyen de la traversée dans le sens le plus achalandé (piétons/sec)

C = durée du cycle (en seconds)

Modèle Québécois:

$$G_{min} = I_e + I_d = TPR + 2 + 2(N - 1) + \frac{D}{v} - (Y + AR)$$

- On retrouve ce modèle dans le projet de norme sur les signaux lumineux. Il est utilisé lorsqu'il y a des feux de piétons. Il est plus explicite, plus nuancé et plus sécuritaire en théorie. Il tient compte du fait que lorsque les piétons sont nombreux, ceux-ci traversent en plusieurs rangées.

nb. moyen de piétons par cycle	<i>N</i>
0.0 à 2.4	1
2.4 à 5.6	2
5.6 à 8.9	3
8.9 à 12.4	4
12.4 à 16.0	5
16.0 à 19.5	6

Modèle HCM 2000:

$$G_{min} = 3.2 + \frac{D}{v} + \left(0.81 \frac{N_p}{L_e} \right) \quad \text{if } L_e > 3 \text{ m}$$

$$G_{min} = 3.2 + \frac{D}{v} + 0.27 N_p \quad \text{if } L_e \leq 3 \text{ m}$$

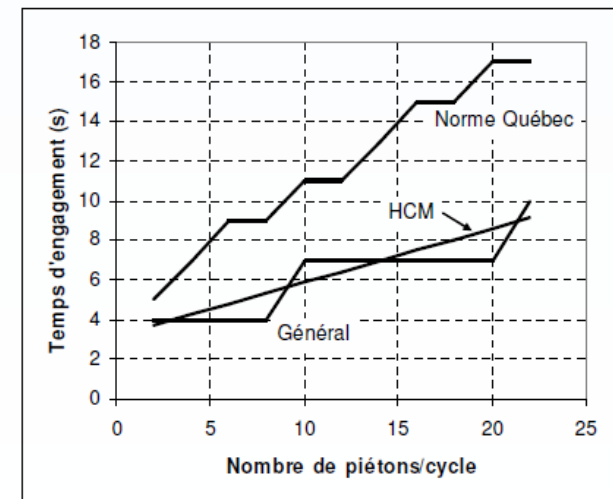
où: D = largeur de la chaussée
 L_e = largeur de la traversée
 N_p = nombre de piétons traversant par cycle
3.2 = Temps de démarrage des piétons

- Le modèle du HCM correspond au modèle généralement utilisé (particulièrement aux carrefours urbains)

Comparaison des modèles:

- Sur le réseau du MTQ, une moyenne de 2 ou 4 piétons par cycle est très rarement excédée.

Piétons/cycle	Classique	Québec	HCM 2000
2	4	5	3.7
4	4	7	4.3
6	4	9	4.8
8	4	9	5.4
10	7	11	5.9
12	7	11	6.4
14	7	13	7
16	7	15	7.5
18	7	15	8.1
20	7	17	8.6
22	10	17	9.1



Note particulière:

- À Montréal, pour certain feux piétonnières, on s'est décidé de laisser circuler les piétons à l'avance des véhicules pour encourager ceux-ci à céder le passage.
- On ajoute alors ce temps d'avance au temps de rouge intégrale et on le soustrait du temps de vert minimum.
- Ce temps est d'environ 5 secondes.



PHASES

Une **phase** est une période de temps particulière à l'intérieur d'un cycle regroupant des GDM dans le même état d'indication de la lentille du feu.

- Chaque changement de phase entraîne généralement un certain temps perdu fixe (ISPA, temps de démarrage, etc.), donc on cherche à minimiser le nombre de phases, sans entraîner des conflits trop sévères.
- On élimine toujours les croisements à angle droit, mais on peut admettre des croisements obliques et opposés.
- Généralement, il faut prévoir des voies réservées pour accommoder un plan incluant plus d'une phase pour chaque corridor.

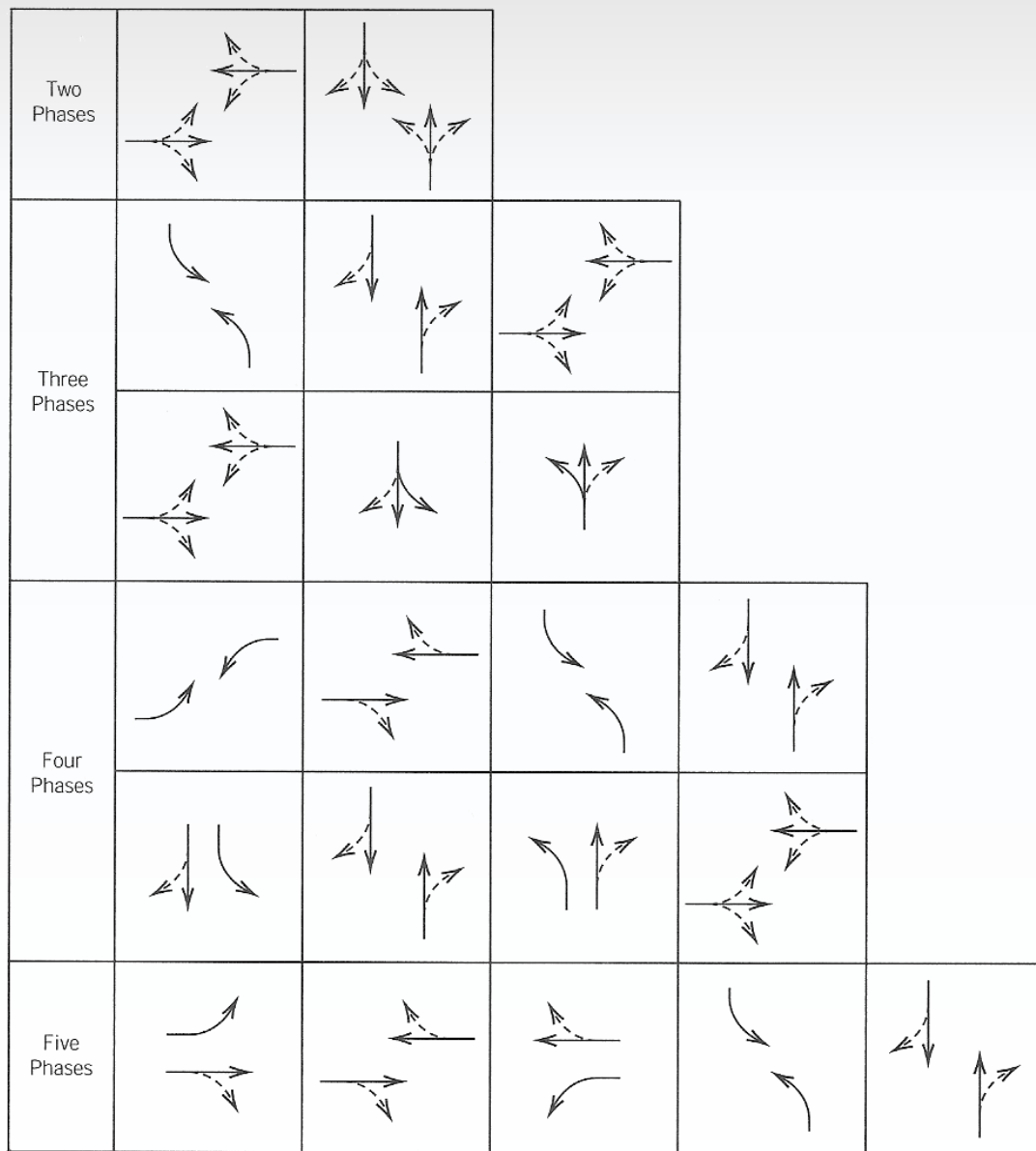
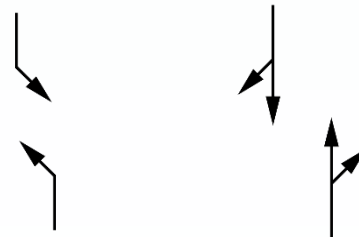
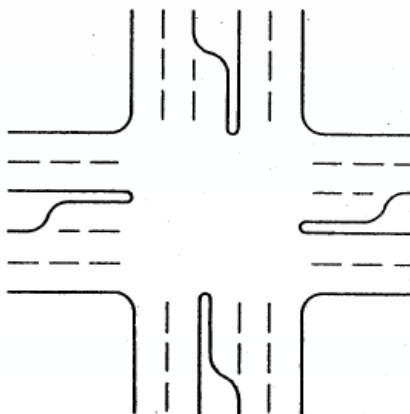
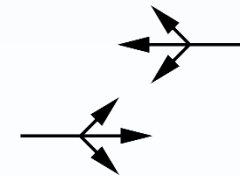
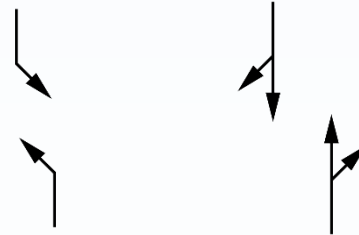
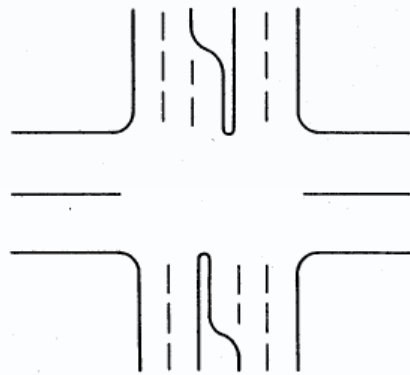
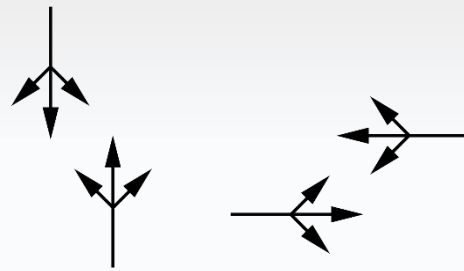
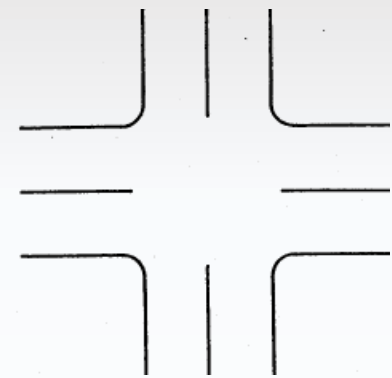
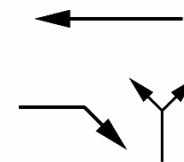
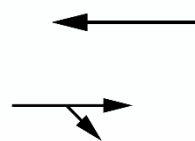
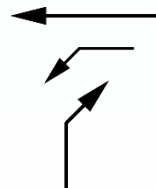
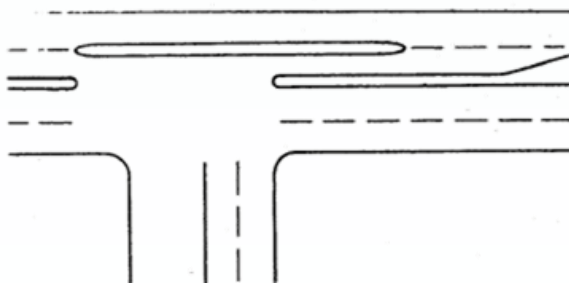
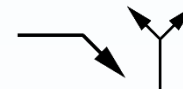
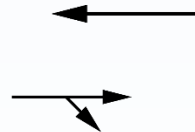
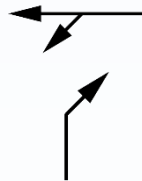
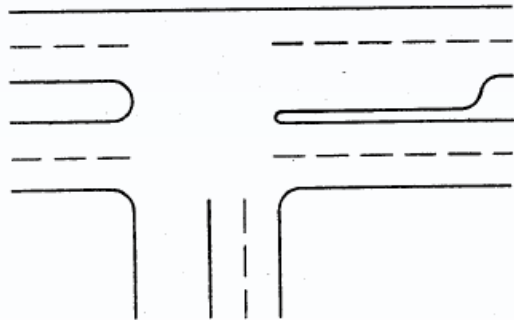
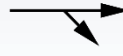
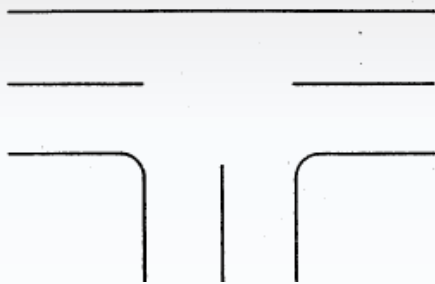


Figure 7.9 Typical phasing configurations and sequencing.





C'est tout pour aujourd'hui!